Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 2, Summer. 2021, p. 121-140

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد 19، شماره 2، تابستان 1400، ص. 140-121

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر کاربرد منابع مختلف کودی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام جدید جو زراعی تحت شرایط دیم

رحیم ناصری[1*]، امیر میرزایی[2]، امین عباسی[3]

تاریخ دریافت: 1399/07/06
تاریخ پذیرش: 1400/03/08

چکیده

به‌منظور بررسی اثر قارچ میکوریزا بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام مختلف جو در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله طی سال زراعی 99-1398 اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل ارقام جو (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل: شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، 50 درصد کود شیمیایی فسفر، قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum* and *Rhizophagus irregularis*)، قارچ میکوریزا +50 درصد کود شیمیایی فسفر و 100 درصد کود شیمیایی فسفر بودند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی تاثیر معنی‌دار داشت. رقم جو فردان در قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش فعالیت‌های آسکوربات‌پراکسیداز (85/7 درصد)، گلوتاتیون‌پراکسیداز (86/5 درصد)، کاتالاز (76/1 درصد)، پراکسیداز (77/3 درصد)، سوپر اکسیددسموتاز (76/9 درصد)، کلروفیل a (88/6 درصد)، کلروفیل b (92 درصد) و موجب کاهش میزان مالون دی‌آلدئید (62/9 درصد) و پراکسیدهیدروژن (96/06 درصد) گردید و رقم جو محلی در تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان فعالیت‌های آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، سوپر اکسیددسموتاز و رنگیزه‌های فتوسنتزی بودند. با توجه به نتایج این پژوهش، در بین ارقام جو دیم مورد استفاده رقم جو فردان به همراه قارچ میکوریزا +50 درصد کود شیمیایی فسفر در زراعت دیم به دلیل بالا بودن صفات فیزیولوژیکی می‌تواند توصیه گردد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش خشکی، کلروفیل، میکوریزا

مقدمه

بخش زیادی از اراضی کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است. در این مناطق مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی کمبود آب می‌باشد که در شرایط دیم به دلیل تغییرات در میزان و نحوه پراکنش نزولات آسمانی شدت بیشتری دارد. از این رو تولید محصولات زراعی در شرایط دیم همواره با ریسک همراه است که ممکن است درجه ثبات و پایداری تولید را کاهش دهد (Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2017). قارچ میکوریزا در کشاورزی ارگانیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، در رابطه همزیستی تمام ویژگی‌های ریشه گیاه میزبان تحت تأثیر قرار گرفته و همچنین موجب بهبود ارتباط آبی در گیاه میزبان می‌شود (Zarei *et al*., 2013). قارچ میکوریزا از طریق افزایش هدایت‌هیدرولیکی ریشه (Robert *et al*., 2008)، تنظیم اسمزی یا میزان تعرق (Asrar and Elhindi, 2011)، افزایش جذب در شرایط سطوح پایین رطوبت خاک آب و انتقال توسط هیف‌ها (Fagbola *et al*., 2001)، تنظیم اسمزی از طریق حفظ تورژسانس (Asrar and Elhindi, 2011)، افزایش فعالیت فتوسنتز، افزایش پرولین، تجمع کربوهیدرات‌ها و بهبود وضعیت عناصر غذایی و غیر مستقیم و بالابردن ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی و موجب بهبود روابط آبی می‌گردد (Asrar *et al*., 2012). وو و زیا (Wu and Xia 2006) افزایش میزان کلروفیل در گیاهچه‌های تلقیح شده با قارچ میکوریزا به میزان 23 درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون حضور قارچ میکوریزا) گزارش کردند. به‌طورکلی، بهبود شرایط تغذیه‌ای و محیطی سبب زیادشدن توان گیاه در تولید میزان کلروفیل در برگ‌ها و تولید انرژی زیادتر می‌شود که این عامل میزان کلروفیل برگ تأثیر می‌گذارد. افزایش میزان کلروفیل در اثر تلقیح با میکوریزا به دلیل جذب فسفر از خاک توسط گیاه نسبت داده‌اند (Smith and Read, 2008). در گزارش‌های عبدالنصر (Aboul-Nasr, 1996) و وو و ویکسا (Wu and Xia, 2006)

1- گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، آموزشکده فنی‌مهندسی و کشاورزی دهلران، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
2- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
3- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
(*- نویسنده مسئول: Email: r.naseri@ilam.ac.ir)
DOI: 10.22067/jcesc.2021.37177.0

اظهار شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی می شود. سونگ (Song, 2005) اظهار داشت قارچ میکوریزا موجب بهبود ریزوسفر خاک و در نتیجه توسعه ریشه و خطر اکسیداسیون کم می‌شود. تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا به واسطه افزایش ساختار و راندمان فتوسنتزی سبب افزایش وزن خشک برگ و اندام هوایی شده که در نهایت موجب افزایش بیوماس نهایی می‌شود (Alipour *et al*., 2016). دلیل افزایش محتوای نسبی آب برگ توسط قارچ میکوریزا را می‌توان به دلیل نقش هیف‌ها در جذب و هدایت آب به سمت ریشه گیاه میزان و در نتیجه موجب انجام فتوسنتز بیشتر می‌شود (Abbasi Seyahjani *et al*., 2016). نشان داده شده‌است که قارچ میکوریزا موجب جذب بیشتر آب می‌شود، که دلیل این موضوع را تغییر ساختار و رشد بهتر ریشه از جمله افزایش تعداد انشعابات ریشه بیان کردند (Berta *et al*., 2005; Khalvati *et al*., 2005).

با توجه به کاهش عملکرد دانه غلات در شرایط دیم، می‌توان با بررسی و نقش میکروارگانیسم‌ها از قبیل قارچ میکوریزا روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحت شرایط دیم به دستاوردهای جدیدی دست یافت. بنابراین آزمایش حاضر با هدف بررسی و نقش قارچ میکوریزا روی خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام جو تحت شرایط دیم صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور نقش قارچ میکوریزا روی فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام جو در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله با عرض جغرافیایی 33 درجه و 45 دقیقه و با طول جغرافیایی 34 درجه و 46 دقیقه و ارتفاع 975 متر از سطح دریا طی سال زراعی 99-1398 اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل ارقام جو دوردیفه (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل: شاهد (عدم مصرف کود)، 50 درصد کود شیمیایی فسفر، قارچ میکوریزا، قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و 100 درصد کود شیمیایی فسفر بودند. در هر کرت تعداد خطوط هشت ردیف و طول هر ردیف چهار متر، با فاصله ردیف 20 سانتی‌متری و فاصله هر تکرار یک متر در نظر گرفته شد. قارچ (*Glomus mosseae, Glomus etunicatum* and *Rhizophagus irregularis*) مورد استفاده در این پژوهش از موسسه خاک و آب کرج تهیه شد. قبل از کاشت گندم، قارچ میکوریزا که هر گرم آن دارای 70 اسپور زنده، با بذرها تلقیح و آغشته شد و پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده کشت شدند. مشخصات رقم‌های جو مورد بررسی در این آزمایش در جدول 1 نشان داده شده است. آمار هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول 2 ارائه شده است. مقدار بذر مصرفی برای هر هکتار 120 کیلوگرم بود. کودهای نیتروژن و فسفر بر اساس آزمون خاک (جدول 3) مورد استفاده قرار گرفتند. کود نیتروژن (از منبع اوره) به میزان 120 کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) مصرف شد. کود فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) به میزان 50 کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت مصرف گردید.

در مرحله گرده‌افشانی، برگ پرچم پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و پس از قرار دادن نمونه‌ها در ازت مایع به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت سنجش آنزیم آسکوربات پراکسیداز روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1981) با اسپکتروفتومتر در طول موج 290 نانومتر استفاده شد. سنجش سوپراکسیددسموتاز به روش دیندسا (Dhindsa, 1981) صورت گرفت. اندازه‌گیری فعالیت پراکسیداز از روش مک‌آدام و همکاران (Mac-Adam *et al*., 1992) انجام گرفت. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز طبق روش ناکانو و آساد (Nakano and Asada, 1981) مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید، پس از جدا کردن مقدار نیم‌گرم از نمونه برگ تازه در طول موج 532 نانومتر اندازه‌گیری گردید (Stewart and Bewley, 1980). جهت سنجش میزان پرولین از روش بیتز و همکاران (Bates *et al*., 1973) استفاده شد.

به‌منظور سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی از برگ پرچم جهت اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کارتنوئید از روش آرنون (Arnon, 1967)، استفاده شد و پس از سانتریفیوژ میزان جذب نور توسط عصاره حاصل از دستگاه اسپکتروفوتومتر و در طول موج‌های 663 (کلروفیل a)، 646 (کلروفیل b) و 473 (کارتنوئید) تعیین گردید:

جدول 1- خصوصیات ارقام جو مورد بررسی در این آزمایش

Table 1- Barley cultivars characteristics in this experiments

ارقام Cultivars	منشا Source	تنش خشکی Drought stress	سال معرفی Release year	اقلیم Climate
ماهور Mahoor	ICARDA	متحمل Tolerant	1386	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر Warm and semi-warm
خرم Khorram	ICARDA	متحمل Tolerant	1390	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر Warm and semi-warm
فردان Fardan	ICARDA	متحمل Tolerant	1397	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر Warm and semi-warm

جدول 2- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی 99-1398
Table 2- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2019-2020 cropping seasons

Month	ماه	حداقل دما Min temp (°C)	حداکثر دما Max temp (°C)	میزان بارش Precipitation (mm)	حداقل رطوبت نسبی Min. RH (%)	حداکثر رطوبت نسبی Max. RH (%)
Oct.	مهر	13.2	37.2	15	18	41
Nov.	آبان	0.8	27.2	44.6	33	73
Dec.	آذر	0.2	19.6	134.4	53	83
Jan.	دی	-2	16.4	37.4	47	84
Feb.	بهمن	-8.5	19.5	60.3	43	79
Mar.	اسفند	1.7	24.8	267.1	47	84
Apr.	فروردین	2.6	26.6	33.5	40	80
May	اردیبهشت	4.8	36.5	11.3	24	64
Jun.	خرداد	16	39.7	0	12	31

جدول 3- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش 99-1398
Table 3- Soil physical and chemical properties of experimental area

بافت خاک Soil texture	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	منیزیم Mg	فسفر Available P	پتاسیم Available K	نیتروژن Total N	کربن آلی Organic Carbon	شوری E.C	اسیدیته pH
	(mg kg^{-1})							(%)		(dS m^{-1})	
Clay loam	10	1.4	5.2	12	216	6	280	0.13	1.5	0.40	7.1

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3\times A663-0.86\times A645)V/100W \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3\times A645-3.6\times A663)V/100W \quad (2)$$

$$\text{Carotenoid content} = 100(A470)-3.27(mg\,chl.a)-104(mg\,chl.b)/227 \quad (3)$$

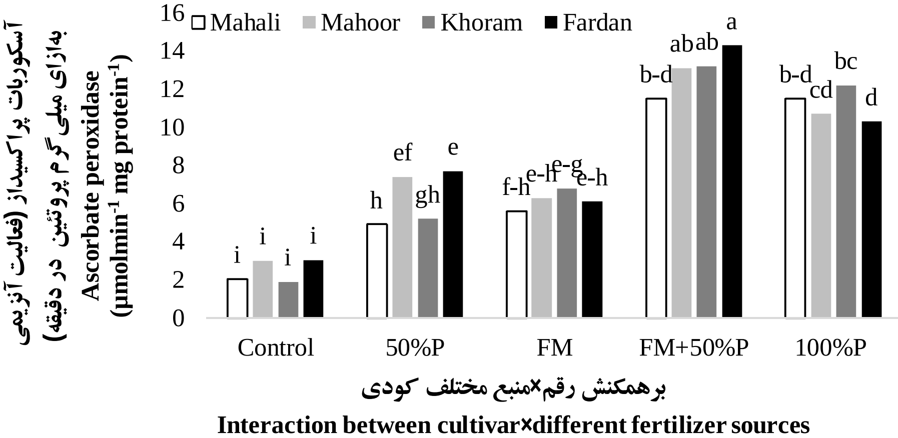
V= حجم محلول صاف شده (محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ)، W= وزن تر نمونه (گرم)، A= جذب نور در طول موج‌های 663، 645 و 470 نانومتر W= وزن تر نمونه بر حسب گرم.

جهت اندازه‌گیری تعداد دانه تعداد 10 سنبله به‌صورت تصادفی از هر تیمار انتخاب و بر اساس شمار دانه در هر سنبله موجود، تعداد دانه در سنبله محاسبه گردید. به‌منظور اندازه‌گیری و تعیین وزن هزار دانه از هرکرت آزمایشی به‌صورت تصادفی شمارش و توسط ترازوی دیجیتالی وزن شد. عملکرد دانه بوته‌های موجود در هرکرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای به‌صورت جداگانه کف بر و اندازه‌گیری شد. تجزیه داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و ترسیم شکل‌ها با نرم‌افزار اکسل صورت گرفتند.

نتایج و بحث

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

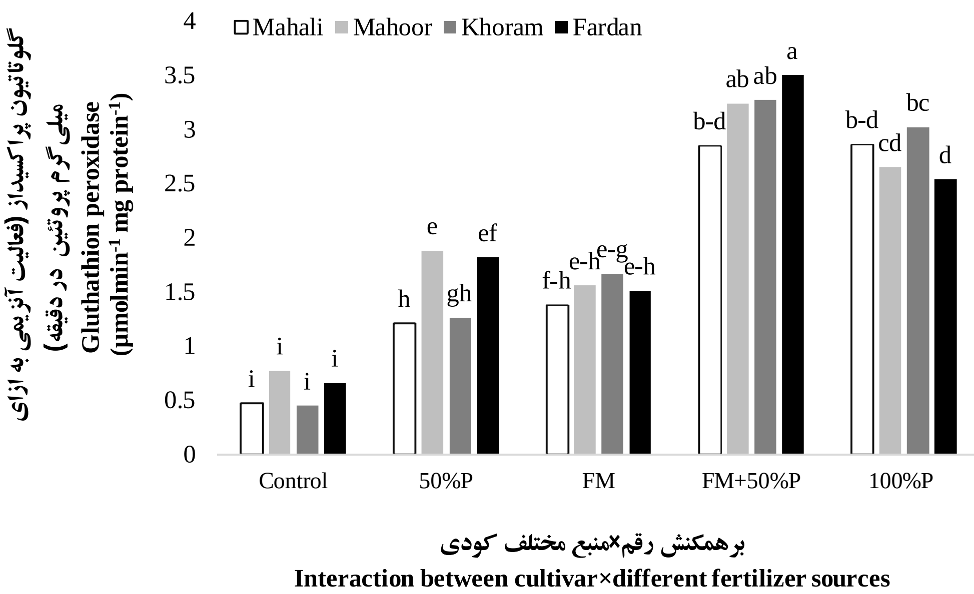
با توجه به جدول تجزیه واریانس صفات مربوط به فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی روی آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز معنی‌دار بود (جدول 4). بیشترین و کمترین میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز به‌ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) به‌ترتیب موجب افزایش 85/7، 76/1، 77/3 و 76/9 درصدی در فعالیت آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز گردید. البته بین رقم‌های ماهور و خرم نیز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری از نظر فعالیت آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز مشاهده نشد و در یک گروه مشابه تحت قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر قرار دادشند (شکل 1 و 2). همانطور که شکل‌های مربوط به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نشان می‌دهد کاربرد کود شیمیایی فسفر، قارچ میکوریزا و کاربرد توأم آن با سایر ارقام مختلف جو نیز نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) دارای فعالیت آنزیمی بیشتری بود (شکل‌های 1 تا 5).



شکل 1- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر آسکوربات پراکسیداز

Figure 1- Interaction of cultivar×fertilizer sources on ascorbate peroxidas

در گزارش‌های ناصری و همکاران (Naseri *et al*., 2017) نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا روی گندم موجب افزایش فعالیت سیتم دفاعی گیاه و موجب بالارفتن فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه از جمله زیادشدن فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز گردید. در برخی گزارش نیز نشان داده شده‌است که قارچ میکوریزا سبب افزایش سطوح آنتی‌اکسیدانتی در گیاه تلقیح‌شده با قارچ می‌شود (Baslam and Goicoechea, 2012). رویز سانچز و همکاران (Ruiz-Sánchez *et al*., 2010)نشان دادند که قارچ میکوریزا سبب بهبود عملکرد فتوسنتزی از طریق تجمع ترکیبات مثل گلوتاتیون که سبب محافظت غشاء لیپیدی در برابر هیدروژون پراکسید می‌گردد.



شکل 2- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر گلوتاتیون پراکسیداز

Figure 2- Interaction of cultivar×fertilizer sources on gluthathion peroxidas

سایر گزارش‌ها نیز نشان دادند که قارچ میکوریزا سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدانتی از قبیل سوپر اکسید دسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز در گیاه می‌گردد (Wu and Zou, 2009).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمایی تحت کاربرد کود شیمیایی نیتروژن و باکتری‌های افزاینده رشد در ارقام مخلف جو دیم

Table 4- Analysis of variance (mean squares) for physiologic and biochemical traits under application of nitrogen chemical fertilizer and mycorrhizl fungi in dry land barley cultivars

منابع تغییر	S.O.V.	درجه آزادی d.f	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	گلوتاتیون پراکسیداز Gluthathion peroxidase	کاتالاز catalase	پراکسیداز peroxidase	سوپراکسید دسموتاز پراکسیداز super oxid dismutas	پراکسید هیدروژن Hydrogen Peroxide	مالون دی آلدئید Malonde aldeyede	کارتنویید Carotenoids	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	نسبت کلروفیل a/b	قندهای محلول soluble sugar	پرولین Prolin	پروتیین محلول برگ Leaf soluble protein	تعداد دانه درسنبله $Grains.spike^{-1}$	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
تکرار	Replication	2	4.3	0.27	4.3	23.4	67.7	3.1	145.8	0.49	0.36	0.34	0.036	87.4	0.49	6.5	62.3	25.1	2871850.7
رقم	Cultivar (C)	3	3.7*	0.23*	11.6**	28.3**	81.9**	3.03**	257.8**	1.8**	0.28*	0.27*	0.035	5.3**	0.38**	0.82**	203.8**	29.8**	3148800.08**
منبع کودی	Fertilizer source (FS)	4	215.4**	13.4**	93.7**	110.5**	320.2**	43.7**	1006.6**	16.7**	13.6**	13.4**	0.21**	30.9**	13.03**	10.38**	494.01**	110.8**	9799611.6**
برهمکنش	C × FS	12	2.5*	0.16*	1.5**	2.9**	7.9**	0.44**	48.8**	0. 66	1.2**	1.5**	0.039	0.73	0.13	0.051	16.9*	4.7**	342748.1*
خطا	Error	38	1.001	0.062	0.41	0.62	1.9	0.088	14.4	0.094	0.072	0.062	0.021	0.78	0.074	0.11	8.3	1.5	140705.4
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	12.7	12.8	8.6	9.6	9.8	13.5	11.1	11.5	14.4	14.1	13.1	21.4	13.2	3.2	13.4	3.9	15.4

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

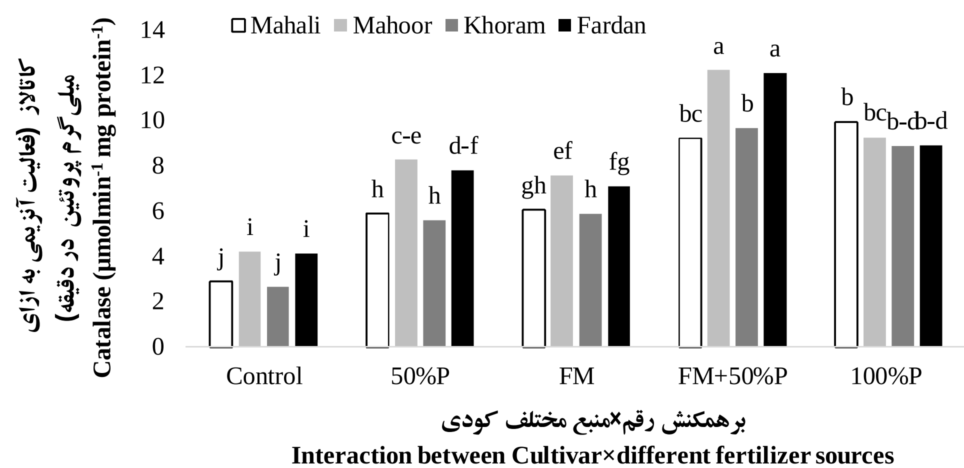
جدول 5- مقایسه میانگین ساده صفات فیزیولوژیک تحت تاثیر رقم و منبع کودی در شرایط دیم

Table 5- Simple comparison of physiological traaits t by affected cultivar and fertilizer source under dryand conditions

		کارتنویید **Carotenoids (mg.g-1fresh weight)**	نسبت کلروفیل **a/b**	قندهای محلول **soluble sugar (mg.g-1 Dw)**	پرولین **Prolin (µmol/g FW)**	پروتیین محلول برگ **Leaf soluble protein (mg.g-1 fresh weight)**
رقم	Cultivar					
محلی	Mahali	2.5a	1.075a	3.59b	1.85b	10.50c
ماهور	Mahoor	2.74a	1.12a	4.12b	2.12a	10.78ab
خرم	Khoram	2.63a	1.078a	3.86b	2.05ab	10.56bc
فردان	Fardan	2.74a	1.18a	4.97a	2.23a	11.02a
منابع مختلف کودی	fertilizer source					
شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)	Control	1.24d	1.012c	2.07d	0.73d	9.35d
50 درصد کود شیمیایی فسفر	50%P	2.16c	1.037b	3.49c	1.72c	10.54c
قارچ میکوریزا	FM	2.10c	1.037b	3.68c	1.66c	10.53c
قارچ میکوریزا +50 درصد کود شیمیایی فسفر	FM+50%P	4.07a	1.34a	6.15a	3.32a	11.75a
100 درصد کود شیمیایی فسفر	100%P	3.68b	1.14b	5.29b	2.89b	11.40b

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column and each factor, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.



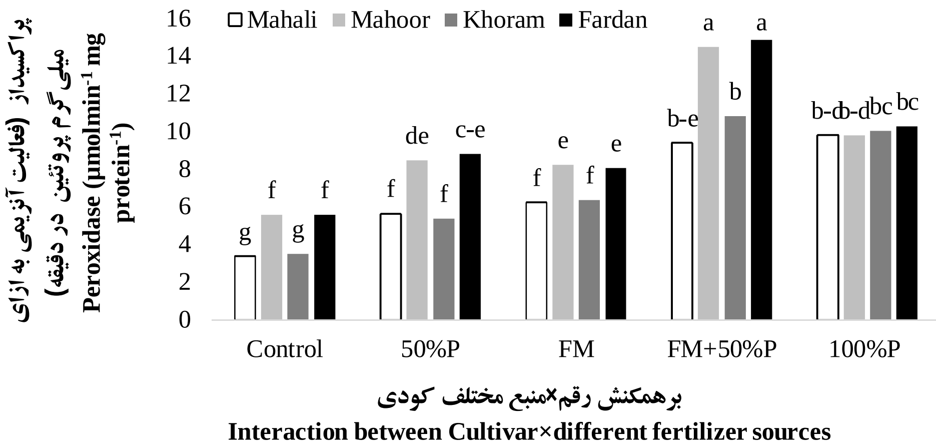
شکل 3- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر کاتالاز

Figure 3- Interaction of cultivar×fertilizer sources on catalase

در سایر گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شد کـه تلقـیح بذر گندم با قارچ میکوریزا سبب کـاهش گونـه‌هـای فعـال اکسـیژن می‌گردد (Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008)، کـه از طریـق افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسـموتاز گـزارش شـده‌اسـت (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004). زهـو و همکاران (Zhu *et al*., 2011) افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتـالاز در گیاه تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا گزارش کردند. قارچ میکـوریزا سـبب تولید مواد آنتی‌اکسیدانتی که نتیجه ایـن افـزایش موجـب کـم‌شـدن گونه‌های اکسیژن فعال و محافظت سلول‌ها می‌شود.

زیادشدن میزان آنزیم‌های پراکسیداز در تلقیح با قارچ میکوریزا در

سایر گزارش‌ها نیز اشاره شده است (Ali *et al*., 2005; Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008; Porcel and Ruiz-Lozano, 2004).



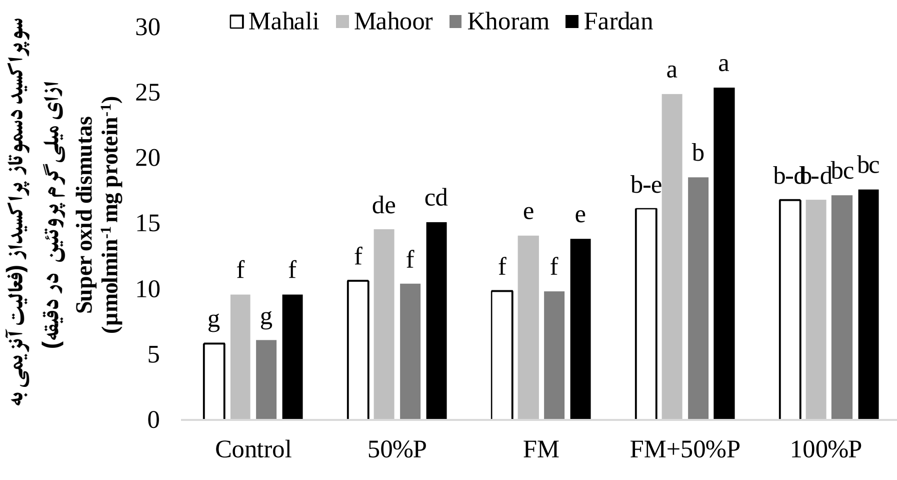
شکل 4- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر پراکسیداز

Figure 4- Interaction of cultivar×fertilizer sources on peroxidas

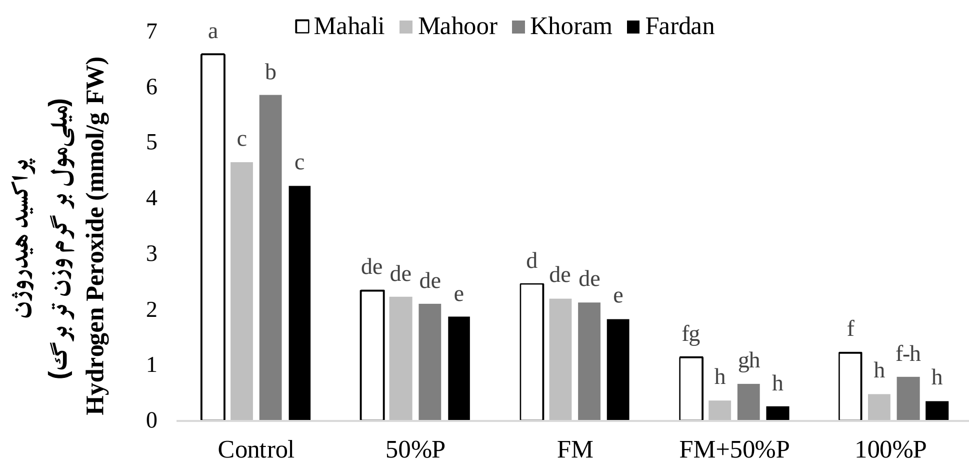
پورسل و ریزلوزانو (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004) افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را در کاربرد میکوریزا عنوان کردند. سیستم فتوسنتزی گیاه توسط تولید گونه‌های فعال آسیب فراوانی می‌بیند. یکی از راه‌های رویارویی گیاه جهت کم‌کردن آثار مخرب گونه‌های اکسیژن فعال، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله سوپراکسیددیسموتاز بوده که سبب پاک‌سازی پراکسید هیدروژن می‌گردند (Hong and Ji-Yan, 2007). سیستم آنزیمی مانند آنزیم‌های سوپر اکسیددسموتاز و سیستم غیر آنزیمی شامل گلوتاتیون می‌باشد (Xu *et al*., 2008). احمدزاده (Ahmadizadeh, 2011) نشان داد که کم‌آبی در ارقام مختلف گندم نان سرعت فعالیت این آنزیم را افزایش داده است. این موضوع نشان می‌دهد که گیاهان برای مقابله با خشکی و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال و مبارزه با تنش ایجاد شده، سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت خود را افزایش می‌دهند. محققان نشان داده‌اند که کم‌آبی سبب کاهش صفات زراعی لوبیا قرمز و افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله کاتالاز، سوپر اکسیددیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز شده است. ریزوباکترها محرک رشد از طریق افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسیددیسموتاز نقش مهمی را در محیط ریزسفر از طریق فراهم‌سازی حذف رادیکال‌های آزاد ایفا می‌کند (Wang *et al*., 2007). سایر گزارش‌ها نیز نشان داده شده است بالابودن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدات موجب بالارفتن قدرت تحمل گیاه به تنش خشکی می‌گردد، فعالیت گلوتاتیون‌ردوکتاز و کاتالاز در ارقام مقاوم به خشکی گندم در مقایسه با ارقام حساس به خشکی مشاهده گردید (Naseri *et al*., 2017). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مثل کاتالاز در تیمار ریزوباکترها محرک رشد در سایر گزارش‌ها نیز آمده است (Heidari and Golpayegani, 2011).

پراکسید هیدروژن

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر پراکسید هیدروژن معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین میزان پراکسیدهیدروژن به‌ترتیب مربوط به تیمارهای رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر بود، که نسبت به کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش 96/06 درصدی در پراکسیدهیدروژن گردید (شکل 6). در شرایطی که گیاه با کمبود آب مواجهه گردد، منتج به زیادشدن گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد. کلروپلاست، میتوکندری و پراکسی‌زوم محل تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشند. افزایش سطح گونه‌های فعال اکسیژن سبب خسارت شدیدی به مکانیسم‌های سلولی‌شده که در نهایت مرگ سلول را موجب می‌گردد (Ishikawa *et al*., 2010). افت فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در رقم جو محلی احتمالاً به دلیل عدم تعادل بین فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها، سبب عملکرد دانه (شکل 13) ضعیف آن شده‌است. بدین ترتیب با تجمع پراکسیدهیدروژن، سلول مورد حمله قرار گرفته و این عوامل سبب می‌شود تا غلات در شرایط دیم حساس‌تر باشد (Naseri *et al*., 2017a).



شکل 5- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر سوپراکسید دسموتاز پراکسیداز
Figure 5- Interaction of cultivar×fertilizer sources on super oxid dismutas

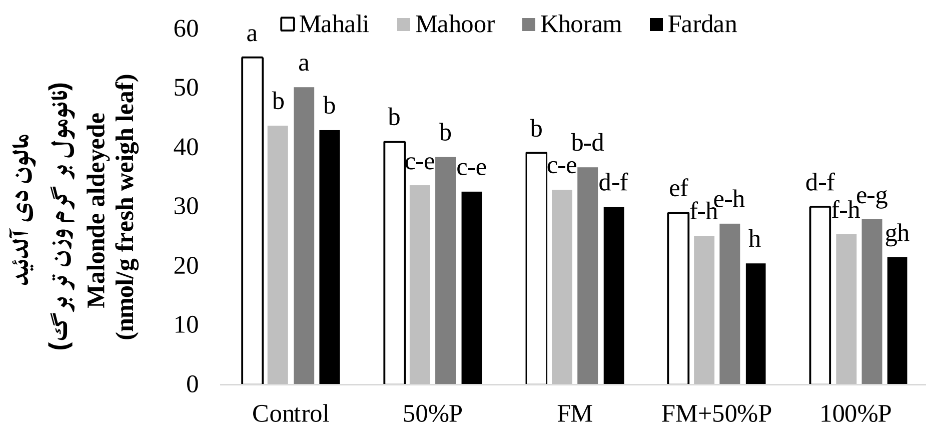


شکل 6- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر پراکسید هیدروژن
Figure 6- Interaction of cultivar×fertilizer sources on hydrogen peroxidas

مالون‌دی‌آلدئید

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر مالون دی‌آلدئید معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین میزان مالون دی‌آلدئید به‌ترتیب مربوط به تیمارهای رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر بود، بیشترین میزان مالون دی‌آلدئید از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و کمترین میزان آن از رقم فردان و تحت که نسبت به کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش 62/9 درصدی در میزان مالون دی‌آلدئید گردید (شکل 7). اسرار و همکارن (Asrar *et al.*, 2012) نشان دادند قارچ میکوریزا موجب کاهش نشت‌پذیری غشاء می‌گردد. زهو و همکاران

(Zhu *et al*., 2011) نشان دادند که در شرایط کم‌آبی نشت‌پـذیری غشاء افزایش می‌یابد. آن‌ها در آزمایش خود نشان دادند نشت‌پـذیری غشاء در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا به دلیل کم‌کردن ناشی تنش اکسیداتیو بود. در گزارش‌های وو و همکـاران (Wu and Xia, 2004 و ریوز-لوزانو (Ruiz-Lozano, 2003) نشـان داده شـد کـه غلظت مالون‌دی‌آلدئید در تیمارهای تلقیح شده با قارچ میکوریزا کمتر است. مالون دی‌آلدئید یکی از تولیداتی که در نتیجه واکـنش تجزیـه غشاء و پراکسید غشاء لیپیدی می‌باشد (Ahmad *et al*., 2012).



شکل 7- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر مالون دی آلدئید

Figure 7- Interaction of cultivar×fertilizer sources on malonde aldeyede

قارچ میکوریزا سبب بهبود عناصر غذایی و هچنین محافظت گیاه میزبان را در مقابل تنش‌های غیر زیستی از جملـه گرمـا و کـم‌آبـی برعهده خواهد داشت (Borde *et al*., 2012). محدودیت آب و گرما سبب زیادشدن نشت‌پذیری غشاء در ماش (Kumar *et al*., 2011)، گندم (Almeselmani *et al*., 2009) و نخـود (Kaushal *et al*., 2013; Arunkumar *et al*., 2012) شد.

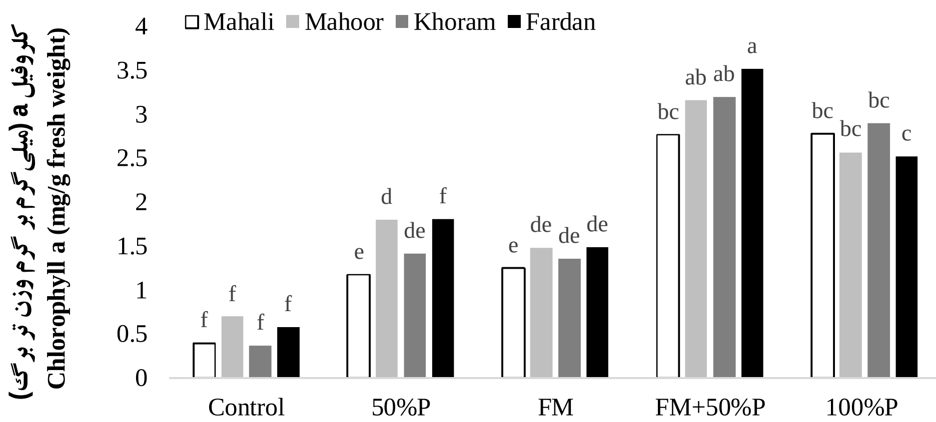
کارتنوئید

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی میزان کارتنوئید معنی‌دار گردید (جدول 4). در این پژوهش نشان داده شد کـه رقـم فـردان دارای بیشـترین میزان کارتنوئید بود و کمترین میزان در رقم محلی مشـاهده گردیـد (جدول 5). در این پژوهش مشاهده گردید کـه تیمـار مخلـوط قـارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسـفر در موجـب افـزایش میـزان کارتنوئید گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسـفر و قـارچ میکـوریزا) دارای کمتـرین میـزان کارتنوئیـد بـود (جـدول 5). بالابودن میزان کارتنوئید در گیاهان تلقیح شده با قـارچ میکـوریزا در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح با قارچ میکوریزا) در گـزارش‌هـای سایر محققین نیز اشاره شده اسـت (Wu and Xia, 2004; Allen *et al*., 2010).

کلروفیل a

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سـطح احتمـال یـک درصد بر کلروفیل a معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشـترین و کمتـرین میزان کلروفیل a به‌ترتیب مربوط به تیمارهای رقـم فـردان و تحـت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت بـه شـاهد (عدم مصرف هیچ منبع کـودی) موجـب افـزایش 88/6 درصـدی در میزان کلروفیل a گردید. در این پژوهش بین رقم‌های جـو مـاهور و خرم نیز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه مشابه تحت قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر قرار داشتند (شکل 8). دستگاه فتوسنتز نسبت به محدودیت آب حساس می‌باشـد (Wahid *et al*., 2007) و کم‌شدن میزان فتوسنتز به دلیل کمبود آب سبب کاهش رشد گیاه و در نهایت عملکرد دانه در گندم گزارش شده اسـت (Naseri *et al*., 2017b). شـائو و همکـاران (Shao *et al*., 2007) در تحقیقات خود روی گندم اظهار داشتند که کلروفیل برگ یکی از پارمترهای مهم برای میزان فتوسـنتز بـوده و از ایـن پـارامتر می‌توان جهت برآورد فتوسنتز استفاده کرد. علـت کـم‌شـدن کـاهش میزان فتوسنتز در شرایط دیم از طریق تخریب در عملکرد و ساختمان کلروپلاست و کم‌شدن در میزان کلروفیل (Xu *et al*., 1995)، پیری زودرس در برگ (Talukder *et al*., 2014) و کم‌شدن میزان سطح سبز برگ که در مرحله زایشی گیاه اتفاق می‌افتد، عنـوان شـده‌اسـت

(Wang *et al*., 2011). گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا موجب افزیش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Raesi *et al*., 2019). سایر تحقیقات نیز نشان داد که قارچ میکوریزا از طریق افزایش در هدایت روزنه‌ها و میزان فتوسنتز موجب افزایش در غلظت کلروفیل a و b می‌گردد (Selvaraj and Chellappan, 2006). افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط قارچ میکوریزا در گیاه میزبان در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) در گزارش‌های سایر پژوهشگران نیز آمده است (Tasang and Maum, 1999). همچنین در فلفل تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا کلروفیل a و b به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزا افزایش یافت (Demir, 2004).



برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی
Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل 8- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر کلروفیل a
Figure 8- Interaction of cultivar×fertilizer sources on chlorophyll a

کلروفیل b

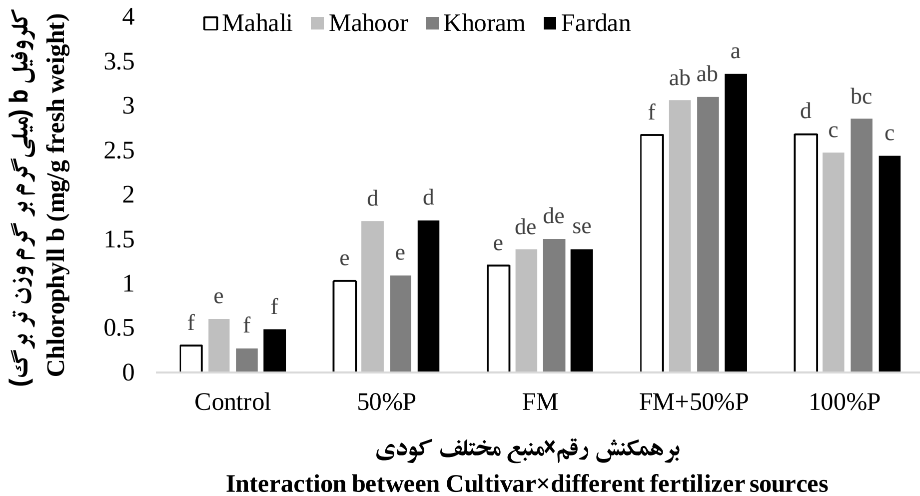
اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل b معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b به‌ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش 92 درصدی در میزان کلروفیل b گردید. در این پژوهش بین رقم‌های جو ماهور و خرم نیز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه مشابه تحت قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر قرار داشتند (شکل 9). کلروفیل به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود، به دلیل این که میزان کلروفیل یکی از عوامل مهم در تعیین فتوسنتز بوده، بنابراین کاهش آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده به حساب آید (Tajalli *et al*., 2013).

در سیستم فتوسنتز محدودیت آب بر میزان کلروفیل، قطع جریان الکترون، تغییرپذیری گرمایی فتوسیستم II و کاهش کربن تثبت‌شده تاثیرگذار خواهد بود (Kaur *et al*., 2015). کم‌آبی سبب ایجاد یک سری واکنش‌هایی نظیر بسته‌شدن روزنه‌ها در گیاه شده که سبب کاهش ورود دی‌اکسید کربن و به دنبال آن کاهش تولید مواد فتوسنتزی مثل ATP، NADPH (Efeoglu *et al*., 2009) و محدودیت تثبیت دی‌اکسید کربن می‌گردد. زمانی که گیاه با کمبود عنصر غذایی فسفر مواجهه شود، سرعت فتوسنتز به دلیل محدودیت در چرخه کالوین کاهش می‌یابد (De Groot *et al*., 2001). نتایج مثبت استفاده از قارچ میکوریزا در رشد و وزن خشک گیاه به دلیل زیادشدن بهبود روابط آبی، جذب عناصر غذایی و افزایش میزان کلروفیل نسبت داده شده‌است (Alipour *et al*., 2016). کودهای زیستی حل‌کننده فسفر از طریق کمک به جذب نیتروژن، فسفر و گوگرد در گیاه و نقشی که این عناصر در تولید کلروفیل و تأمین آنزیم‌های دارند، سب افزایش میزان فتوسنتز شده‌اند (Yousefpoor *et al*., 2014). بالابودن میزان غلظت کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح با قارچ میکوریزا) در گزارش‌های سایر محققین نیز اشاره شده است (Wu and Xia, X. 2004; Allen *et al*., 2010).

نسبت کلروفیل a/b

با توجه به جدول تجزیه واریانس تنها اثرات اصلی مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار گردید

(جدول 4). تیمار مخلوط قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش نسبت کلروفیل a/b گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول 5). در سایر پژوهش‌های انجام گرفته نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی اثر معنی‌داری روی نسبت کلروفیل a/b داشته، به گونه‌ای که این نسبت تحت شرایط تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا افزایش از خود نشان داد (Heshmati *et al.*, 2016).



شکل 9- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر کلروفیل b

Figure 9- Interaction of cultivar×fertilizer sources on chlorophyll b

بدین ترتیب بر اساس این نتایج می‌توان بیان نمود در شرایط کمبود آب در حضور قارچ میکوریزا به همراه مصرف کود شیمیایی فسفر علاوه بر استحکام بافت‌های گیاهی و برگ‌ها، موجب بقای بیشتر برگ‌ها و افزایش میزان کلروفیل نیز می‌گردد و این امر باعث تداوم عمل فتوسنتز شده و نقش مهمی را در افزایش عملکرد دانه خواهد داشت. در سایر گزارش‌ها نیز بیان شده است که یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی متأثر از تنش خشکی، میزان کلروفیل برگ بوده که در اثر خشکی کاهش در رنگیزه‌های فتوسنتزی مشاهده گردید. این روند کاهشی را به دلیل از بین رفتن آنزیم‌های بیوسنتزی رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین القای تجزیه‌شدن یا مهار سنتز آن‌ها در شرایط تنش نسبت دادند (Afshar Mohamadian *et al.*, 2018). نقوی و همکاران (Naghavi *et al.*, 2015) از دلایل دیگر کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش خشکی را تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با گونه‌های فعال اکسیژن عنوان کردند. آنچه مشخص است کلروفیل a رنگدانه مهم فتوسیستم I بوده و محل استقرار آن، غشا تیلاکوئیدها است، کاهش مقدار این کلروفیل، یکی از نشانه‌های تنش بوده و تجزیه کلروفیل و یا کاهش سنتز آن، هر دو به‌واسطه تخریب در ساختار تیلاکوئیدها عنوان گردیده است (Azimi *et al.*, 2020). نتایج این آزمایش مشخص نمود که مصرف کود شیمیایی فسفر به همراه قارچ میکوریزا در مراحل مختلف رشد گیاه در شرایط دیم با افزایش نسبت کلروفیل a/b موجب پایداری فتوسنتز در طی دوره تنش می‌گردد.

قندهای محلول برگ

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر قندهای محلول برگ معنی‌دار گردید (جدول 4). رقم فردان دارای بیشترین میزان قندهای محلول برگ و کمترین آن در رقم محلی مشاهده گردید (جدول 5). همچنین تیمار مخلوط قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش قندهای محلول برگ گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول 5). کم‌شدن قندهای محلول در شرایط تنش خشکی از کاهش دسترسی به کربوهیدرات‌ها در اثر کاهش فتوسنتز ناشی می‌شود (Rahimi *et al.*, 2020). آسیب به غشای سلولی در پی تنش کم‌آبی نیز تنظیم اسمزی را محدود کرده، به طوری‌که که محتوای آب برگ بیشتر در تنش کم‌آبی ممکن است از تجمع اسمولیت‌ها از قبیل قندهای محلول جلوگیری و تاثیر گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا روی غلظت قندهای محلول به علت افزایش فتوسنتز گزارش شده است (Fouad *et a*l., 2014). در سایر گزارش‌های محققین نیز افزایش میزان قندهای محلول برگ در کاربرد قارچ میکوریزا روی گندم نسبت به

تیمار شاهد (عدم کاربرد قارچ میکوریزا) مشاهده شد (Naseri *et al*., 2017). بالابودن علظت قندهای محلول در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در شرایط کم‌آبی حکایت از نقش مطلوب قارچ میکوریزا در گیاه میزبان دارد (Subramanian and Charest, 1995). با توجه به پایین بودن میزان بارندگی‌ها (جدول 2) در منطقه ایلام که بعد از اسفندماه جو دیم معمولاً نیاز ضروری به آب دارد، که میزان بارندگی معمولاً به آن حدی نیست که نیاز جو را به آب برطرف نماید. پورسل و ریزو-لوزانو (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004) نیز افزایش قندهای محلول را گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا گزارش کردند.

پرولین

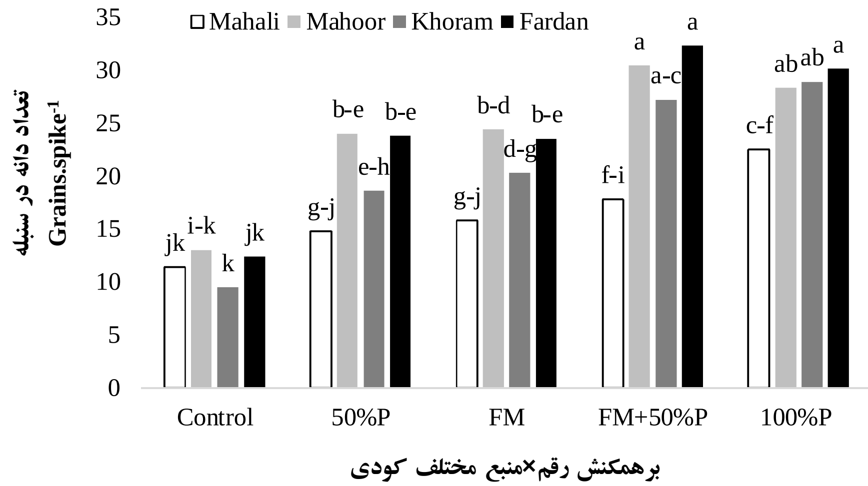
با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر میزان پرولین برگ معنی‌دار گردید (جدول 4). رقم فردان دارای بیشترین میزان پرولین برگ بود و کمترین میزان آن در رقم محلی مشاهده گردید (جدول 5). تیمار مخلوط قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر در موجب افزایش میزان پرولین گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول 5). بررسی‌های صورت گرفته بیان‌گر آن است که قارچ میکوریزا ضمن آن که سبب رشد می گردد، موجب افزایش میزان پرولین برگ می‌گردد (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004). افزایش محتوای پرولین سبب محافظت غشا سلولی و کنترل گونه‌های فعال اکسیژن و پاکسازی رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Liang *et al*., 2013). افزایش در میزان پرولین برگ در گیاه تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا به دلیل شرایط آبی خوب و تغذیه مناسب غذایی بهتر نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح)، عنوان شده‌است (Ruiz-Lozano, 2003). قارچ میکوریزا از طریق تاثیر بر ریشه، تنظیم فشار اسمزی، تغییر در انعطاف‌پذیری دیواره سلولی، افزایش فعالیت‌فتوسنتزی، تجمع پرولین روی گیاه میزبان اثرگذاری خود را نشان می‌دهد (Alipour *et al*., 2016). میکروارگانیسم‌های خاک دارای تاثیر معنی‌داری بر میزان پرولین می‌باشند، در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا میزان پرولین افزایش معنی‌داری از خود نشان داد (Asrar *et al*., 2012). گزارش شده است که گیاه ماش تلقیح شده با قارچ میکوریزا از رشد بهتر و میزان بالاتر پرولین برخوردار بود (Udaiyan *et al*., 1997). در گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شده‌است که قارچ میکوریزا سبب افزایش در میزان صفات فیزیولوژیکی از جمله غلظت پرولین می‌گردد (Yooyongwech *et al*., 2013).

پروتئین محلول برگ

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر پروتئین محلول برگ معنی‌دار گردید (جدول 4). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین پروتئین محلول برگ بود و کمترین آن در رقم محلی مشاهده گردید (جدول 5). در این پژوهش مشاهده گردید که تیمار مخلوط قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر در موجب افزایش پروتئین محلول برگ گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول 5). کاربرد کودهای زیستی، از طریق تثبیت زیستی بیشتر نیتروژن، موجب زیادشدن سنتز اسیدهای آمینه در برگ‌ها و به انباشتگی پروتئین در برگ‌ها کمک می کند (Momeni *et al*., 2020). در سایر پژوهش‌های صورت گرفته افزایش مقدار پروتئین در برگ‌ها در کاربرد قارچ میکوریزا به علت جذب عناصر غذایی بیشتر و در دسترس قرار دادن نیتروژن و فسفر عنوان نمودند (Ram Rao *et al*., 2007).

عملکرد و اجزای عملکرد

صفت تعداد دانه در سنبله یکی از پارامترهای مهم و تعیین‌کننده عملکرد به‌حساب می‌آید، که در این آزمایش تحت تاثیر برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول 4). بیشترین و کمترین تعداد دانه به‌ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود،که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش 70/5 درصدی تعداد دانه در سنبله گردید (شکل 10). با توجه به این‌که در شرایط دیم گیاه با تنش‌های مختلف از جمله کم‌آبی و گرما مواجهه می‌گردد و در شرایط ایلام معمولاً از فروردین میزان بارندگی کم می‌گردد (جدول 2) که این کمبود بارندگی با مرحله گرده‌افشانی و متعاقب آن تشکیل دانه همراه می‌باشد. در گزارش‌های سایر محققان بیان شده است که در مرحله زایشی، یک دوره کوتاه تنش گرما می‌تواند به‌طور معنی‌داری سبب کم‌شدن جوانه‌های گل و موجب زیادشدن سقط گل می‌شود (Annisa *et al*., 2013). در تیمارهای شاهد میزان تعداد دانه در سنبله در تمامی ارقام مورد پژوهش به شدت کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند اما در تیمارهای قارچ میکوریزا ما حداکثر تعداد دانه در سنبله را شاهد هستیم. بنابراین به نظر می‌رسد قارچ میکوریزا از طریق افزایش طول دوره رشد تحت شرایط دیم و افزایش سطح برگ موجب کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی و گرما گردید. آنچه مشخص است در مرحله گرده‌افشانی که عمل تلقیح صورت می‌گیرد، کمبود رطوبت در این مرحله موجب کاهش میزان کلروفیل (شکل 8 و 9) و افزایش میزان غلظت گونه‌های فعال اکسیژن (شکل 6) و نشت یونی (شکل 7) می‌گردد.

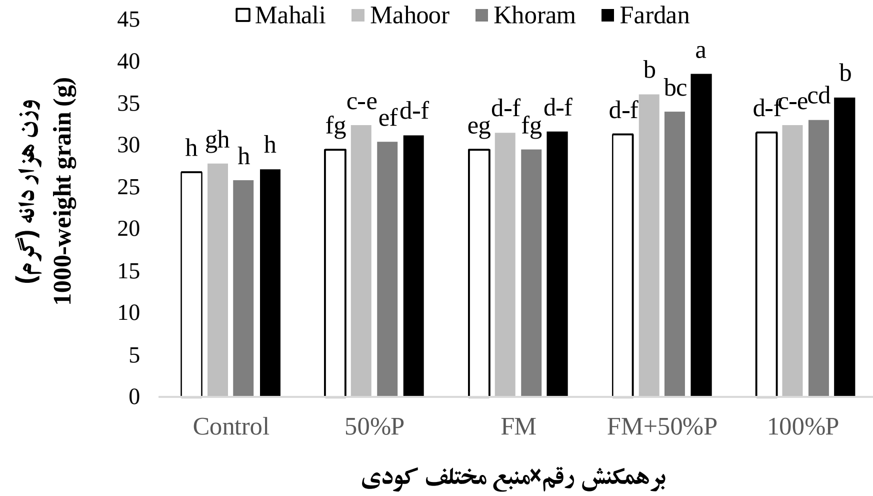


شکل 10- برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی بر تعداد دانه در سنبله

Figure 11- Interaction of cultivar×fertilizer sources on grains.spike^{-1}

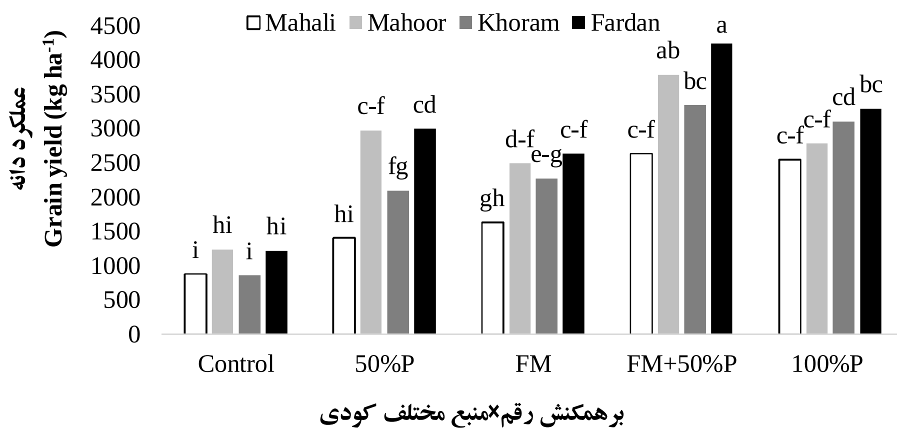
اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به‌ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش 30/9 درصدی وزن هزار دانه گردید (شکل 11). زمانی‌که گیاه به دوران رسیدگی نزدیک می‌گردد مواد حاصل از فتوسنتز را به اندام‌های زایشی (دانه‌ها) منتقل می‌کند. قارچ میکوریزا از طریق تسریع و تقویت این عمل سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. آنچه مشخص است در شرایط آب و هوایی ایلام و در مرحله تشکیل و پر شدن دانه که عملاً کمبود آب و گرما را شاهد هستیم (جدول 2) کمبود رطوبت موجب می‌گردد که عمل تشکیل دانه و پر شدن دانه به خوبی صورت نگیرد و با مشکل مواجه گردد که نتیجه آن چروکیدگی و کاهش وزن هزار دانه می‌باشد. قارچ میکوریزا موجب تاخیر در پیری برگ‌ها، کاهش ریزش برگ‌ها و همچنین موجب زیادشدن میزان آب قابل دسترس گیاه و در نهایت موجب زیادشدن میزان کلروفیل (Naseri *et al*., 2017b) (شکل 8 و 9) می‌گردد، بنابراین مواد غذایی و مواد فتوسنتزی بیشتری در اختیار دانه‌ها قرار داده که این امر سبب و سبب افزایش اندازه و حجم دانه‌ها می‌شود که مجموعه این عوامل موجب وزن دانه می‌گردد (Abasi syah Jani *et al.*, 2017). نتایج این پژوهش نشان داد که تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا سبب زیادشدن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مثل کاتالاز (شکل 3)، پراکسیداز (شکل 4) و سوپراکسیددسموتاز (شکل 5) و میزان رنگ‌دانه‌های کلروفیل (شکل 8 و 9) و در نهایت زیاد شدن وزن هزار دانه گردید.

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش 79/3 درصدی در عملکرد دانه گردید (شکل 12). استفاده قارچ میکوریزا در تمامی ارقام جو سبب افزایش عملکرد دانه گردید، بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح قارچ میکوریزا در ارقام مختلف جو را می‌توان به افزایش میزان کلروفیل (شکل‌های 8 و 9) و کاهش نشت یونی (شکل 7) نسبت داد. قارچ مایکوریزا میزان تولید هورمون‌های رشدی (جیبرلین، اکسین و سیتوکینین) افزایش داده که از این طریق رشد و نمو بهتر و در نهایت تولید عملکرد دانه بیشتر خواهد شد (Sohrabi *et al.*, 2019). سادات و همکاران (Sadat *et al.*, 2010) در آزمایش‌های خود بر گندم نشان دادند استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه گردید. نتایج این بررسی، نقش سودمند قارچ میکوریزا را به‌ویژه در کاهش خسارت انتهایی فصل در شرایط دیم را تأیید کرد. گزارش شده است قارچ میکوریزا از طریق کلونیزه کرده و افزایش ریشه گیاه سبب انتشار و توسعه ریشه به منظور کسب آب و مواد غذایی که منتج به تولید عملکرد دانه بیشتری می‌گردد (Hassanpour and Behnam Zand, 2014).



شکل 11- برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی بر وزن هزار دانه

Figure 12- Interaction of cultivar×fertilizer sources on 1000-grain weight



شکل 12- برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی بر عملکرد دانه

Figure 13- Interaction of cultivar×fertilizer sources on grain yield

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در شرایط دیم منطقه صفات فیزیولوژیک (میزان کلروفیل برگ) در تمامی ارقام جو مورد مطالعه نسبت به تیمار کاربرد قارچ میکوریزا و کود شیمیایی فسفر از خود کاهش نشان دادند، در این پژوهش نیز حداکثر فعالیت پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در رقم محلی×تیمار شاهد مشاهده شد، اما هنگامی که تلقیح با قارچ میکوریزا استفاده گردید خصوصیات فیزیولوژیکی افزایش پیدا کردند. رقم فردان× قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر دارای حداکثر فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپر اکسیددسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز) که نتیجه آن بهبود رشد و عملکرد دانه بود. با توجه به نتایج این پژوهش، در بین ارقام جو دیم مورد استفاده رقم جو فردان به همراه قارچ میکوریزا +50 درصد کود شیمیایی فسفر در زراعت دیم منطقه می‌تواند توصیه گردد.

References

1. Abasi Syah Jani, E., Yarnai, M., Farhoosh, F., Khorshidi Benam, M., and Asadi Rahmani, H. 2017. Effect of

razobium phazeoli bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on yield andyield components of red bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) under water tension deficit. Crop Physiology Journal 10 (40): 19-34. (in Persian with English abstract).

2. Aboul-Nasr, A. 1996. Effects of vesicular–arbuscular mycorrhiza on Tagetes erecta and Zinnia elegans. Mycorrhiza 6: 61-64.
3. Afshar Mohamadian, M., omidipour, M., and Jamal Omidi, F. 2018. Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology) 31 (3): 511-525. (in Persian with English abstract).
4. Ahmad, P., Hakeem, K. R., Kumar, A., Ashraf, M., and Akram, N. A. 2012. Salt-induced changes in photosynthetic activity and oxidative defense system of three cultivars of mustard (*Brassica juncea* L.). African Journal of Biotechnology 11 (11): 2694-2703.
5. Ahmadizadeh, M., Valizadeh, M., Zaefizadeh, M., and Shahbazi, H. 2011. Antioxidative protection and electrolyte leakage in durum wheat under drought stress condition. Journal of Applied Sciences Research 7 (3): 236-246.
6. Ali, M. B., Hahn, E., and Paek, K. 2003. Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in Phalaenopsis. Plant Physiology and Biochemistry 43: 213-223.
7. Alipour, H., Nikbakht Etemadi, A., N., Nourbakhsh, F., and Rejali F. 2016. The Efficiency of Mycorrhizal Fungi on Growth Characteristics and some Nutrients Uptake of Plane tree Seedling (*Platanus orientalis* L.). Journal of Horticultural Science 29 (4): 537-546. (in Persian with English abstract).
8. Allen, M. F., Edith B., Jennifer L., Lansing A., Kurt S., Pregitzer B., Ron L., Hendrick C., Roger W., Ruess D., and Collins, S. L. 2010. Responses to chronic N fertilization of ectomycorrhizal pinon but not arbuscular mycorrhizal juniper in a pinon-juniper woodland. Journal of Arid Environments 74: 1170-1176.
9. Almeselmani, M., Deshmukh, P. S., and Sairam, R. K. 2009. High temperature stresstolerance in wheat genotypes: role of antioxidant defence enzymes. Acta Agronomica Academiae Scientiarum Hungaricae 57: 1-14.
10. Amiri Farsani, F., Chorom, M., and Enayatizamir, N. 2013. Effect of biofertilizer and chemical fertilizer on wheat yield under two soil types in experimental greenhouse. Soil and Water 27 (2): 441-451. (in Persian with English abstract).
11. Annisa, A., Chen, S., Turner, N. C., and Cowling, W. A. 2013. Genetic variation for heat tolerance during the reproductive phase in *Brassica rapa*. Agronomy Journal of Crop Science 199: 424-435.
12. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
13. Arunkumar, R., Sairam, R. K., Deshmukh, P. S., Pal, M., Khetarpal, M. S., Pandey, S. K., Kushwaha, S. R. and Singh, T. P. 2012. High temperature stress and accumulation of compatible solutes in chickpea (*Cicer arietinum* L). Indian Journal of Plant Physiology 17: 145-150.
14. Asrar, A. W. A., and Elhindi, K. M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences 18: 93-98.
15. Asrar, A. A., Abdel-Fattah, G. M., and Elhindi K. M. 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirhinum majus* L.) plants grown under well-watered and water stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. Photosynthetica 50 (2): 305-316.
16. Azimi, M., Taheri, M., Khoshzaman, T., Tokasi, M., Sohrabi, E., Dadras, A., and Abdollahi, A. 2020. Investigation of Drought Tolerance Using Metabolites and Photosynthetic Characters in Zard Olive (*Olea Europaea* L.) Cultivar Plants. Iranian Journal of Soil and Water Research 51 (4): 873-883. (in Persian with English abstract).
17. Baslam, M., and Goicoechea, N. 2012. Water deficit improved the capacity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of antioxidant compounds in lettuce leaves. Mycorrhiza 22: 347-359.
18. Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39 (1): 205-207.
19. Berta, G., Sampo, S., Gamalero, E., Massa, N., and Lemanceau, P. 2005. Suppression of Rhizoctonia root-rot of tomato by Glomus mossae BEG12 and Pseudomonas fluorescens A6RI is associated with their effect on the pathogen growth and on the root morphogenesis. European Journal of Plant Pathology 111: 279-88.
20. Borde, M., Dudhane, M., and Jite, P. 2012. Growth, water use efficiency and antioxidant defense responses of mycorrhizal and non mycorrhizal *Allium sativum* L. under drought stress condition. Annals of Plant Protection Sciences 1: 6-11.
21. De Groot, C. C., Marcelis, L. F. M., van der Boogaard, R., and Lambers, H. 2001. Growth and dry-mass partitioning in tomato as affected by phosphorus nutrition and light. Plant, Cell and Environment 24: 1309-1317.
22. Demir, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological, growth parameters of pepper. Turkish Journal of Biology 28: 85-90.
23. Efeoglu, B., Ekmekci, Y., and Cicek, N. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. South African Journal of Botany 75: 34-42.
24. Dhindsa, R. S. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany 32 (1):

93-101.
25. Eskandari, H., and Alizadeh-Amraie, A. 2017. Grain yield and energy efficiency of a barley dry land farming system as affected by supplemental irrigation at flowering stage. Journal of Crops Improvement 18 (4): 871-880. (in Persian with English abstract).
26. Eydizadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., and Soufizadeh, S. 2010. Effect of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology 2 (2): 292-301. (in Persian with English abstract).
27. Fagbola, O., Osonubi, O., Mulongox, K., and Odunfa, S. A., 2001. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhiza on the growth of Gliricdia sepium (Jacq), Walp, *Leucaenal leucocephala* (Lam). De wit. In simulated eroded soil conditions. Mycorrhiza 11: 215-223.
28. Fouad, M. O., Essahibi, A., Benhiba, A., and Qaddoury, A. 2014 Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi in the protection of olive plants against oxidative stress induced by drought. Spanish Journal of Agricultural Research 12: 763-771.
29. Hamel, C., and Plenchette, C. 2007. Mycorrhizae in crop production. Haworth, Binghampton.
30. Hassanpour, J., and Zand, B. 2014. Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage. Iranian Journal of Seed Sciences and Research 1 (2): 1-12. (in Persian with English abstract).
31. Hong, W., and Ji-Yan, J. 2007. Effects of zinc deficiency and drought stress on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). Agricultural Science in China 6 (8): 988-995.
32. Heidari, M., and Golpayegani, A. 2011. Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 11: 57-61.
33. Heshmati, S., Amini Dehaghi, M., Rezazadeh, A., and Fathi Amirkhiz, K. 2016. Study the effect of different phosphorus fertilizers on physiological characteristic of photosynthetic pigments and soluble sugars of safflower under water deficit condition. Iranian Journal of Field Crops Research 14 (2): 304-317.
34. Ishikawa, T., Takahara, K., Hirabayashi, T., Matsumura, H., Fujisawa, S., Terauchi, R., Uchimiya, H., and Kawai-Yamada, M. 2010. Metabolome analysis of response to oxidative stress in rice suspension cells overexpressing cell death suppressor Bax inhibitor-1. Plant Cell Physiology 51: 9-20.
35. Kaur, R., Bains, T. S., Bindumadhava, H., and Nayyar, H., 2015. Responses of mungbean (*Vigna radiata* L.) genotypes to heat stress: Effects on reproductive biology, leaf function and yield traits. Scientia Horticulturae http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.015.
36. Kaushal, N., Awasthi, R., Gupta, K., Gaur, P., Siddique, K. H. M., Nayyar, H. 2013. Heat-stress induced reproductive failures in chickpea (*Cicer arietinum* L.) are associated with impaired sucrose metabolism in leaves and anthers. Functional Plant Biology 40: 1334-1349.
37. Khalafallah, A. A., Abo-Ghalia, and H. H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4: 559-569.
38. Khalvati, M. A., Mozafar, A., and Schmidhalter, V. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart 7 (6): 706-712.
39. Kumar, S., Kaur, R., Kaur, N., Bhandhari, K., Kaushal, N., Gupta, K., Bains, T. S., and Nayyar, H. 2011. Heat-stress induced inhibition in growth and chlorosis in mungbean (Phaseolus aureus Roxb.) is partly mitigated by ascorbic acid application and isrelated to reduction in oxidative stress. Acta Physiologiae Plantarum 33: 2091-2101.
40. Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., and Becker, D. F. 2013. Proline Mechanisms of Stress Survival. Antioxidant and Redox Signaling Journal 19: 998-1011.
41. Mac-Adam, J. W., Nelson C. J., and Sharp R. E. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. Plant Physiology 99 (3): 872-878.
42. Momeni, F., Abdali-Mashhadi, A., Siadat, S. A., Pakdaman-Sardrood, B., and Ghobadi. M. 2020. Effect of Application of Biofertilizers and Salicylic Acid on Biochemical Characteristics and Grain Elements of Chickpea Cultivars (*Cicer arietinum* L.) under Rainfed Conditions of Kermanshah Crop [hysiology Journal 12 (47): 5-25.
43. Naghavi, M. R., Toorchi, M., Moghaddam, M., and Shakiba, M. R. 2015. Evaluation of diversity and traits correlation in spring wheat cultivars under drought stress. Notulae Scientia Biologicae 7 (3): 349-354.
44. Nakano, Y., and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology 22: 867-880.
45. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2017a. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on root charactrestics, some activities of antioxidative enzymes of wheat under dry land conditions. Applied Research of Plant Ecophysiology 5 (1): 163-188. (in Persian with English abstract).

46. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2017b. Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal fungi on some activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics of wheat under dry land conditions. Iranain Journal of Dryland Agriculture 6 (1): 1-34. (in Persian with English abstract).
47. Naseri, R., Soleymani Fard, A., Mirzaei, A., Darabi, F., and Fathi, A. 2019. The effect of Plant Growth Promoting Rhizohacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam province. Iranian Journal of Pulses Research 10 (2): 62-78. (in Persian with English abstract).
48. Porcel, R., and Ruiz-Lozano, J. M. 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. Journal of Experimental Botany 55: 1743-50.
49. Raesi, R., Fakheri, B., and Mahdinezhad, N. 2019. Evaluation of the effect of *Glomus fascollaria* on some morphological characteristics, photosynthetic pigments and antioxidant activity of Chicory (*Cichorium intybus* L.) under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 12 (2): 495-505. (in Persian with English abstract).
50. Rahimi, A., Dovlati, B., Amirnia, R., and Heydarzade, S. 2020. Effect of application of mycorrhizal fungus and *Azotobacter* on physiological characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. under water stress conditions. Iranian Journal of Plant Biology 11 (4): 3-17. (in Persian with English abstract).
51. Ram Rao, D. M., Kodandaramaiha, J., Reddy, M. P., Katiyar R. S. and Rahmathulla, V. K. 2007. Effect of VAM fungi and bacterial biofertilizers on mulberry leaf quality and silkworn cocoon characters under semi-aride conditions. Caspian Journal of Environmental Science 5 (2): 111-117.
52. Robert, M., Auge, R. M., Heather, D., Carl, F., Sams, E. A., and Ghazala, N. 2008. Hydraulic conductance and water potential gradients in squash leaves showing mycorrhiza-induced increases in stomatal conductance. Mycorrhiza 18: 115-121.
53. Ruiz-Lozano, J. M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress, new perspectives for molecular studies. Mycorrhiza 13: 309-317.
54. Ruiz-Sánchez, M., Aroca, R., Muñoz, Y., Armada, E., Polón, R., and Ruiz-Lozano, J. M. 2010. The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. Journal of Plant Physiology 167: 862-869.
55. Sadat, A., Savaghebi, Gh., Rejali, F., Farahbakhsh, M., Khavazi, K., and Shirmardi M. 2010. Effects of some Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. Journal of Water and Soil 24 (1): 53-62. (in Persian with English abstract).
56. Selvaraj, T., and Chellappan, P. 2006. *Arbuscular mycorrhizae*: a diverse personality. Journal of Central European Agriculture 7 (2): 349-358.
57. Shao, H. B., Chu, Y., Wu, G., Zhang, J. H., Lu, Z. H., and Hu, Y. C., 2007. Changes of some antioxidative physiological indices under soil water deficits among 10 wheats (*Triticum aestivum* L.) genotypes at tillering stage. Colloids and Surfaces 54: 143-149.
58. Smith, S. E., and Read, D. J., 2008. Mycorrhizal Symbiosis, third ed., Academic Press, London, UK.
59. Sohrabi, Y., Weisany, W., Heidari, Gh., Mohammadi, Kh., and Ghasemi Golezani, K. 2019. Effects of mycorrhiza fungi species application on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Environmental stresses in Crop Science 12 (2): 507-524. (in Persian with English abstract).
60. Song, H. 2005. Effects of vam on host plant in condition of drought stress and its mechanisms. Electronic Journal of Biology 1 (3): 44-48.
61. Stewart, R. R., and Bewley, J. D. 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiology 65 (2): 245-248.
62. Tajalli, H., Mousavi, S., Baradaran, R., Saberi, M., and Arazmjoo, E. 2013. Evaluation of 20 barley genotypes under the terminal drought condition. Journal of Crop Ecophysiology 7 (25 (1)): 91-104. (in Persian with English abstract).
63. Talukder, A.S.M.H.M., McDonald, G. K., and Gill, G. S. 2014. Effect of short-term heat stress prior to flowering and early grain Seton the grain yield of wheat. Field Crops Research 160: 54-63.
64. Tasang, A., and Maum, M. A. 1999. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastalforedunes. University of Waterloo, Canada. Plant Ecology 144: 159-166.
65. Tewari, A. K., and Tripathy B. C. 1998. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. Plant Physiology 117: 851-858.
66. Udaiyan, K., Devi, A. P. G., Chitra, A., and Greep, S. 1997. Possible role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on drought tolerance in *Vigna unguiculata subsp*. unguiculata (L.) Walp and *Leucaena latisiliqua* L. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science 20: 135-146.
67. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. Environmental and Experimental Botany 61: 199-223.
68. Wang, Y. J., Wang, H. M., Yang, C. H., Wang, Q., and Mei, R. H. 2007. Two distinct manganese-containing superoxide dismutase genes in Bacillus cereus: their physiological characterizations and roles in surviving in

wheat rhizosphere. FEMS Microbiology Letters 272: 206-213.
69. Wang, X., Cai, J., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., and Cao, W. 2011. Pre-anthesis high-temperatureacclimation alleviates damage to the flag leaf caused by post-anthesis heat stressin wheat. Journal of Plant Physiology 168: 585-593.
70. Wu, Q. S., Zou, and Y. N. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. Plant Soil Environment 55: 436-442.
71. Wu, Q. S., and Xia, R. X. 2004. The relation between vesicular-arbuscular mycorrhizae and water metabolism in plants. Chinese Agricultural Science Bulletin 20 (1): 188-192.
72. Wu, B., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., and Wong, M. H. 2005 Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. A greenhouse trail. Geoderma 125 (1-2): 155-162.
73. Wu, Q. S., and Xia, R. X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163: 417-425.
74. Yooyongwech, S., Phaukinsang, N., Cha-Um, S., and Supaibulwatana, K. 2013. Arbuscular mycorrhiza improved growth performance in *Macadamia tetraphylla* L. grown under water deficit stress involves soluble sugar and proline accumulation. Plant Growth Regulation 69: 285-293.
75. Zhu, X., Song, F., and Liu, S. 2011. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food, Agriculture and Environment 9: 583-587.
76. Xu, P. L., Guo, Y. K., Bai, J. G., Shang, L., and Wang, X. J. 2008. Effects of long-term chilling on ultrastructure and antioxidant activity in leaves of two cucumber cultivars under low light. Physiologia Plantarum 132: 467-478.
77. Xu, Q. A., Paulsen, A. Q., Guikema, J. A., and Paulsen, G. M. 1995. Functional and ultrastructural injury to photosynthesis in wheat by high-temperature during maturation**.** Journal of Experimental Botany 35: 43-54.
78. Yousefpoor. Z., Yadavi, A., Balouchi, H., and Farajee, H. 2014. Evaluation of yield and some physiological, morphological and phonological characteristics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) influenced by biological and chemical fertilizer of nitrogen and phosphorus. Journal of Agroecology 6 (3): 508-519. (in Persian with English abstract).
79. Zhu, X., Song, F., and Liu, S. 2011. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food, Agriculture and Environment 9: 583-587.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 2, Summer. 2021, p. 121-140

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد 19، شماره 2، تابستان 1400، ص. 140-121

Effect of Application of Different Fertilizer Sources on Physiological and Biochemical Traits of new Cultivars of Barley under Dryland Conditions

R. Naseri[1*], A. Mirzeai[2], A. Abbasi[3]

Received: 27-09-2020
Accepted: 29-05-2021

Introduction

Mycorrhiza fungus is of special importance in organic agriculture and in relation to the coexistence of all root characteristics of the host plant is affected and also improves the water relationship in the host plant. With application of mycorrhizal fungus, the plant absorbs soil water better and as a result, by increasing the relative moisture content of the leaves, the stomata are open for a longer time and carbon dioxide processing is done optimally, resulting in more photosynthesis, which ultimately leads to increased yield. The aim of this research in rainfed agriculture is to reduce the stresses on rainfed wheat. In rainfed wheat cultivation, the plant gets its water requirement from rainfall. In most cases, the plant water needs are not met in this way. Due to the reduction of grain yield of rain-fed barley cultivars, new achievements can be reached by investigating the role of plant growth-promoting bacteria on physiological and biochemical traits under rain-fed conditions. Considering that no research has been reported on the role of plant growth promoting bacteria on rainfed barley in the country and especially in Ilam province. Therefore, the present experiment was conducted to investigate the effect of plant growth promoting bacteria on the activity of antioxidant enzymes and physiological traits of rain-fed barley cultivars.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of inoculation with mycorrhizal fungi on some physiologic and biochemical traits of barley cultivars in rainfed conditions, a factorial field experiment was carried out in the form of a randomized complete block design with three replications in the farm station of Sarablah Agricultural Research Center during 2019-2020 cropping season. Experimental treatments including factor of barley cultivars (Mahali, Mahour, Khoram and Fardan) and fertilizer sources treatment including: control (without fertilizer source), 50% P fertilizer, mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum* and *Rhizophagus irregularis*), mycorrhizal fungi + 50% P chemical fertilizer and 100% P chemical fertilizer.

Results and Discussion

The results of this experiment showed that the interaction between cultivar×fertilizer sources had a significant effect on the activity of some antioxidant enzymes and physiological properties. Fardan cultivar× mycorrhizal fungi +50% P chemical fertilizer increases the activities of ascorbate peroxidase (14.3 μmolmin^{-1} mg protein^{-1}), gluthathion peroxidase (3.5 μmol.min^{-1} mg protein^{-1}), catalase (12.1 μmolmin^{-1} mg protein^{-1}), peroxidase (14.8 μmol.min^{-1} mg protein^{-1}), super oxid dismutas (25.4 μmol.min^{-1} mg protein^{-1}), chlorophyll a (3.5 mg.g^{-1} fresh weight), chlorophyll b (3.3 mg.g^{-1} fresh weight) and reduces malonde aldeyede (20.4 nmol.g fresh weigh leaf) and hydrogen Peroxide (0.26 mmol.g^{-1} FW) and Mahali cultivar× control treatment (without fertilizer sources) had the lowest activities of ascorbate peroxidase, peroxidase, superoxide dismutase and photosynthetic pigments.

Conclusions

The results of this study showed that in the dryland conditions of the region, physiological traits (leaf chlorophyll content) were significantly reduced in all studied barley cultivars. In this study, the maximum activity of hydrogen peroxide and malondealdeyede in the Mahali cultivar×control treatment was observed, but when inoculation was used with mycorrhizal fungus, observed an increase in physiological characteristics. Fardan cultivar×Mycorrhiza+50% P fertilizer with maximum activity of photosynthetic pigments and antioxidant enzymes (superoxide desmutase, catalase and peroxidase) which resulted in increased growth and yield. According to the results of this study, among the rainfed barley cultivars used, Fardan cultivar with mycorrhizal

1- Department of Plant Production Technology, Dehloran Faculty of Agriculture and Engineering, Ilam University, Ilam, Iran
2- Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran
3- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
(*- Corresponding Author Email: r.naseri@ilam.ac.ir)

fungi +50% P fertilizer can be recommended in rainfed agriculture of the region.

Acknowledgements

This research was derived from a research project that was carried out at Sarablah Agricultural Research Station. Thanks to all the colleagues who accompanied and helped the authors during the implementation of this study.

Keywords: Antioxidant enzymes, Chlorophyll, Drought stress, Mycorrhiza